

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 4 N 1/393		H 0 4 N 1/393	5 B 0 5 7
G 0 6 T 3/40		G 0 6 F 15/66	3 5 5 F 5 C 0 7 6

審査請求 有 請求項の数10 ○L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-340626

(22) 出願日 平成10年11月30日 (1998. 11. 30)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成10年6月1日
発行の「Interface 1998年6月号」に発表

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社
東京都品川区北品川6丁目7番35号

(71) 出願人 598000806

貴家 仁志
東京都八王子市南大沢5-9-3-307

(72) 発明者 福原 隆浩

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内

(74) 代理人 100067736

弁理士 小池 晃 (外2名)

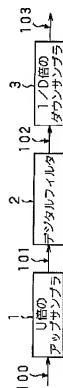
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像の解像度変換装置及び方法

(57) 【要約】

【課題】 任意有理数倍の画像拡大・縮小を、高画質かつ少ない処理時間で実現することができる。

【解決手段】 入力画像100をU倍のアップサンプラ1でU倍にアップサンプリングし、デジタルフィルタ2に送る。デジタルフィルタ2では、U倍のアップサンプリングと後段の1/D倍のダウンサンプリングとで歪が生じないようなフィルタ特性を有し、冗長性を排除したフィルタ演算が行われる。デジタルフィルタ2からの出力102はダウンサンプラ3に送られて1/D倍にダウンサンプリングされる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力画像を U 倍 (U は整数) にアップサンプルするアップサンプル手段と、アップサンプルされた画像をフィルタリングするフィルタ手段と、

フィルタリング後の画像を D 分の 1 ($= 1/D$ 、 D は整数) にダウンサンプルするダウンサンプル手段とを備え、

上記入力画像に対して U/D 倍の解像度変換を行うことを特徴とする画像の解像度変換装置。

【請求項 2】 上記フィルタ手段は、アップサンプルの倍率 U とダウンサンプルの倍率 D によって、その伝達関数が決定されることを特徴とする請求項 1 記載の画像の解像度変換装置。

【請求項 3】 上記フィルタ手段は、アップサンプル時のイメージング防止用のフィルタの伝達関数 $H_1(z)$ とダウンサンプル時のエイリアシング防止用のフィルタの伝達関数 $H_2(z)$ とを合成して得られる合成伝達関数 $H_{1+2}(z)$ の特性を有することを特徴とする請求項 1 記載の画像の解像度変換装置。

【請求項 4】 上記アップサンプルの倍率 U の値が上記ダウンサンプルの倍率 D の値よりも大きい場合は、上記フィルタ手段は、零次ホールド手段とダウンサンプル手段とを用いて構成されることを特徴とする請求項 1 記載の画像の解像度変換装置。

【請求項 5】 上記ダウンサンプルの倍率 D の値が上記アップサンプルの倍率 U の値よりも大きい場合は、上記フィルタ手段は、零次ホールド手段と平均操作手段とを用いて構成されることを特徴とする請求項 1 記載の画像の解像度変換装置。

【請求項 6】 入力画像を U 倍 (U は整数) にアップサンプルするアップサンプル工程と、アップサンプルされた画像をフィルタリングするフィルタリング工程と、

フィルタリング後の画像を D 分の 1 ($= 1/D$ 、 D は整数) にダウンサンプルするダウンサンプル工程とを備え、

上記入力画像に対して U/D 倍の解像度変換を行うことを特徴とする画像の解像度変換方法。

【請求項 7】 上記フィルタリング工程は、アップサンプルの倍率 U とダウンサンプルの倍率 D によって、その伝達関数が決定されることを特徴とする請求項 6 記載の画像の解像度変換方法。

【請求項 8】 上記フィルタリング工程は、アップサンプル時のイメージング防止用のフィルタの伝達関数 $H_1(z)$ とダウンサンプル時のエイリアシング防止用のフィルタの伝達関数 $H_2(z)$ とを合成して得られる合成伝達関数 $H_{1+2}(z)$ の特性を有することを特徴とする請求項 6 記載の画像の解像度変換方法。

【請求項 9】 上記アップサンプルの倍率 U の値が上記

ダウンサンプルの倍率 D の値よりも大きい場合は、上記フィルタリング工程は、零次ホールド法とダウンサンプル法とを用いて実行されることを特徴とする請求項 6 記載の画像の解像度変換方法。

【請求項 10】 上記ダウンサンプルの倍率 D の値が上記アップサンプルの倍率 U の値よりも大きい場合は、上記フィルタリング工程は、零次ホールド法と平均操作法とを用いて実行されることを特徴とする請求項 6 記載の画像の解像度変換方法。

10 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、画像を任意有理数倍率で拡大・縮小するような画像の解像度変換装置及び方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 電子スチルカメラやプリンタ等多用するサムネイル画像やデジタル画像のズームの機能を実現する場合、画像の解像度変換が必要とされる。

【0003】 従来より用いられてきた技術によれば、単純な整数倍の拡大または整数分の 1 の縮小については比較的容易に実現することができるが、任意有理数倍の解像度変換については複雑な処理が必要とされるものが多い。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 すなわち、従来の技術において、前述の様に単純な整数倍の拡大、または整数分の 1 の縮小を行うのみでは、例えば原画像の解像度が大きくなると整数分の 1 のサイズ間の差 (例えば $1/2$ と $1/3$ の差) が大きくなるので、滑らかなズームが出来なくなる。拡大の場合も同様である。

30 【0005】 また、任意有理数倍の解像度変換が行えても、倍率によっては歪みが目立ったり、非常に多くの処理時間を要したりする問題点が残されていた。

【0006】 本発明は、上述の問題点に鑑みてなされたものであって、任意有理数の拡大・縮小が、高画質且つ容易に、すなわち少ない処理時間で実現し得るような画像の解像度変換装置及び方法を提供することを目的とする。

【0007】

40 【課題を解決するための手段】 上述の課題を解決するために、本発明に係る画像の解像度変換方法及び装置は、入力画像を U 倍 (U は整数) にアップサンプルし、アップサンプルされた画像をフィルタリングし、フィルタリング後の画像を D 分の 1 (D は整数) にダウンサンプルすることにより、入力画像に対して U/D 倍の拡大・縮小を伴う解像度変換を行うこと特徴としている。

【0008】 ここで、上記フィルタリングは、歪みが生じないように解像度変換倍率に応じて伝達関数を変えるデジタルフィルタ手段が用いられる。このデジタルフィルタ手段の伝達関数は、アップサンプルの倍率 U とダ

ウンサンプルの倍率Dとによって決定されることが好ましく、より具体的には、アップサンプル時のイメージング防止用のフィルタの伝達関数 $H_u(z)$ とダウンサンプル時のエイリアシング防止用のフィルタの伝達関数 $H_d(z)$ とを合成して得られる合成伝達関数 $H_{H_u}(z) = H_u(z)H_d(z)$ とすることが好ましい。

【0009】また、上記アップサンプルの倍率Uの値が上記ダウンサンプルの倍率Dの値よりも大きい場合は、上記フィルタリングは、零次ホールド法とダウンサンプル法とを用いて処理が行われることが好ましく、上記ダウンサンプルの倍率Dの値が上記アップサンプルの倍率Uの値よりも大きい場合は、上記フィルタリングは、零次ホールド法と平均操作法とを用いて処理が行われることが好ましい。

【0010】この任意有理数倍の解像度変換において、アップサンプリングは、画像の解像度を、例えば零次ホールド手段によって上げる作用がある。ダウンサンプリングは、画像の解像度を、例えば間引き処理または複数画素の平均値算出処理により算出する作用がある。デジタルフィルタ手段は、拡大倍率Uと縮小倍率 $1/D$ の各値に応じて、伝達関数を設定し、画素単位にフィルタ係数を乗算して畳み込み演算を行う作用がある。

【0011】また、上記デジタルフィルタ手段は、アップサンプリングまたはダウンサンプリングによってイメージングやエイリアシングが発生しないように、帯域制限を行う作用がある。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る画像の解像度変換装置及び方法の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0013】本発明に係る画像の解像度変換装置の第1の実施の形態を図1に示す。この図1に示す本発明の第1の実施の形態としての画像の解像度変換装置は、入力画像100をU倍(Uは整数)にアップサンプルするU倍のアップサンプル1と、アップサンプルされた画像101をフィルタリングするデジタルフィルタ2と、フィルタリング後の画像102をD分の1(Dは整数)にダウンサンプルする $1/D$ 倍のダウンサンプル3とを有して構成されている。この図1の構成により、入力画像100は U/D 倍に解像度変換されて、出力画像103として取り出される。

【0014】デジタルフィルタ2の伝達関数は、アップサンプルの倍率Uとダウンサンプルの倍率Dとによって決定されることが好ましい。また、U倍のアップサンプリングにより新たに生じるスペクトル成分であるイメージング成分を除去するためのフィルタの伝達関数を $H_u(z)$ 、 $1/D$ 倍のダウンサンプリングによる折り返し歪を除去するためのアンチエイリアシングフィルタの伝達関数を $H_d(z)$ とすると、デジタルフィルタ2の伝達関数 $H_{H_u}(z)$ は、

$$H_{H_u}(z) = H_u(z)H_d(z)$$

とし、冗長性を排除したものとすることが好ましい。

【0015】また、Uの値がDの値よりも大きい場合には、デジタルフィルタ2としては、零次ホールド回路とダウンサンプル回路とを用いることが好ましく、Dの値がUの値よりも大きい場合には、デジタルフィルタ2としては、零次ホールド回路と平均操作回路とを用いることが好ましい。

【0016】ここで、本発明の各実施の形態に用いられる基本技術となる4つの手法について説明する。具体的には、画像拡大のための零次ホールド法、直線補間法、画像縮小のためのダウンサンプル法、平均操作法の4つの手法である。

【0017】まず1番目の手法として、零次ホールド法は、最も単純な手法として知られており、一次元の画素列で考えた場合、N倍の拡大は画素の近隣に $N-1$ 個の同値の画素を補間する処理に相当する。この零次ホールド法は、処理が単純である反面、拡大率が大きい場合にはブロック状に不連続な画質になるという問題がある。

【0018】図2は、零次ホールド法による画像の3倍拡大の具体例を示したものである。この図2の(A)には、原画像の一部、例えば縦横 3×3 画素の部分が表示されており、3倍の拡大(面積比では9倍の拡大)の場合には、1画素に対して同値の画素を縦横 3×3 個配置することで、原画像の 3×3 の部分に対して、図2の

(B)に示すように、拡大画像の対応部分が 9×9 個の画素で構成される。この拡大画像の 9×9 個の画素の部分の横一行分の部分Lを取り出し、縦横に画素値をとって図2の(C)に示す。この図2の(C)の破線の○印が零次ホールドにより補間された画素を示しており、原画像の各画素(図中の実線の○印)の隣にそれぞれ2個ずつの同値の画素Pが補間されている。

【0019】2番目の直線補間法は、双次補間法とも呼ばれ、比較的に滑らかな拡大画像を生成することができ。この手法は、拡大に伴って補間される画素を、隣接する原画像の画素間の直線近似によって生成する。

【0020】図3は、直線補間法による画像の3倍拡大の具体例を示したものである。この図3の(A)は、原画像の一部である例えば縦横 3×3 画素の部分を示し、3倍拡大時には、図3の(B)に示すように、これらの画素間に補間画素Pを配置することで、縦横 9×9 画素の拡大画像の部分形成する。補間画素Pは、図3の

(C)に示すように、原画像の隣接画素間を直線近似して求めらるから、原画像の右端や下端の画素に続く補間画素を求めるためには、さらに外側の画素Qが必要とされる。従って、画素数を厳密に整数倍に拡大する場合には、端の補間画素を生成するために仮りの画素Qを追加して直線近似を行う。なお、追加される画素は、画像の滑らかさを考慮して、通常、画像の端の画素を中心と

して対称関係になるように選択され(図3の(C)参照)、直線補間後に除去される。直線補間法では、滑らかな拡大画像を得ることができるが、その一方でエッジ部ではシャープさに欠けてしまう傾向がある。

【0021】次に、3番目のダウンサンプル法は、最も単純な手法として知られている。一次元の画素列で考えた場合、ダウンサンプル法によるN分の1の縮小は、N画素毎に画素を選び出して画像を再構成する処理に相当する。また、この手法は処理が単純である反面、高周波成分を多く含む画像に対して実行すると、折り返し歪み(エイリアシング)が発生することがある。

【0022】図4は、ダウンサンプル法による画像の1/3縮小の具体例を示したものである。図4の(A)に示す原画像の縦横9×9画素の部分に対して、3画素毎に画素を選び出して、残りの画素Rを間引くことにより、図4の(B)に示すような縦横3×3画素の縮小画像の部分形成している。

【0023】次に、4番目の平均操作法について説明すると、一次元の画素列で考えた場合、平均操作法によるN分の1の縮小は、N画素毎に平均値を計算し、その値を縮小画像の画素値として画像を再構成する処理である。また、平均処理はローパスフィルタに相当するため、折り返し歪み(エイリアシング)の発生を抑制することができる。

【0024】図5は、平均操作法による画像の1/3縮小の具体例を示したものである。図5の(A)に示す原画像の縦横9×9画素の部分に対して、それぞれ3×3画素の領域毎にその領域内の9画素値の平均値をとり、縮小画像の各画素値とすることにより、図5の(B)に示すような縦横3×3画素の縮小画像の部分形成する。

【0025】次に、U/D倍の画像の解像度変換法について説明する前に、U倍の拡大処理法、及び1/D倍の縮小処理法について以下述べる。まず最初に、画像のU倍の拡大法について述べる。

【0026】図6の(A)は、このU倍の画像拡大のための基本構成を図示したもので、U倍のアップサンプル6と、伝達関数が $H_1(z)$ のデジタルフィルタ7とから構成される。デジタルフィルタ7の伝達関数 $H_1(z)$ は、z軸($z = \exp(j\omega T)$)上の表現であるが、この時間軸上の表現であるフィルタのインパルス応答を $h_1(n)$ とする。nは時間軸上のサンプル数(サンプル番号、サンプル位置)である。同様に、入力画像104を $x(n)$ 、アップサンプル6の出力107を $c(n)$ 、デジタルフィルタ7の出力108を $y(n)$ とする。次に動作について説明する。

【0027】入力画像104はU倍のアップサンプル6に送られ、画像がU倍にアップサンプリングされる。この時のアップサンプリングの動作を具体的に示したのが、図7である。この図7に示すように、U倍のアップ

サンプリングとは、(U-1)個の0値を挿入する操作を意味する。

【0028】すなわち、図7の(A)の縦横3×3画素の原画像の部分は、図7の(B)に示す3倍アップサンプル6aで3倍にアップサンプリングされて、図7の(C)に示すように、1次元方向で画素間に2個の0値が挿入され、2次元では原画像1個当たり8個の0値が挿入される。従って、原画像の縦横3×3画素の部分は、拡大画像で縦横9×9画素の部分に変換される。

【0029】これによって生成されたアップサンプル画像107は、伝達関数 $H_1(z)$ のデジタルフィルタ7に入力されてフィルタリングされた結果、U倍の拡大画像108が出力される。

【0030】次に、伝達関数 $H_1(z)$ のデジタルフィルタ7の満たすべき特性について述べる。理想的なU倍の拡大を行うためには、アップサンプリングによる信号の周波数帯域の変化を考慮してローパスフィルタを設計しなければならない。図8の(A)、(B)は、それぞれ原信号の周波数帯域 $X_1(z)$ 、U倍のアップサンプリング後の周波数帯域 $X_1(z)$ を示している。なお、 ω は正規化角周波数である。また、図8の(B)における縦線部は、イメージング成分(アップサンプリングにより新たに生じるスペクトル成分)を示しており、拡大画像を得るには、この成分を取り除く必要がある。従って、図9の(A)に示した理想ローパスフィルタ $H_1(z)$ を用いることで、図9の(B)の周波数帯域 $Y_1(z)$ を持った拡大画像を得ることが可能である。以上より、伝達関数 $H_1(z)$ のデジタルフィルタ7は、図9の(A)に示した理想ローパスフィルタ $H_1(z)$ の特性を持ったものを選択する。

【0031】次に、1/D倍の縮小処理法について述べる。図6の(B)は、この1/D倍の画像縮小のための基本構成を図示したもので、伝達関数が $H_2(z)$ のデジタルフィルタ4と、1/D倍のダウンサンプル5とから構成される。時間軸上の表現として、デジタルフィルタ4のインパルス応答を $h_2(n)$ とし、入力画像104を $x(n)$ 、デジタルフィルタ4の出力105を $p(n)$ 、ダウンサンプル5の出力106を $y(n)$ とする。次に動作について説明する。

【0032】入力画像104は、まずデジタルフィルタ4に入力されてフィルタ出力105が出力される。このフィルタ出力105は、ダウンサンプル5で1/D倍にダウンサンプリングされる。1/D倍のダウンサンプリングとは、(D-1)個の画素を抜き取る操作を意味する。これによって生成された1/D倍の縮小画像106が出力される。

【0033】図10は、このようなダウンサンプリングの動作をD=4の場合を例にとって具体的に示したものである。この図10において、(A)に示す原画像の縦横12×12画素の部分に対して、図10の(B)に示す1/4ダウンサンプル5aにより、1次元方向では4

画素につき3画素を抜き取り、2次元では4×4画素から1個の画素を残して残りの画素Rを除去し、図10の(C)に示すような縮小画像、すなわち1/4にダウンサンプリングされた画像の縦横3×3画素の部分として生成される。

【0034】次に、伝達関数 $H_u(z)$ のデジタルフィルタ4の満たすべき特性について述べる。理想的な1/D倍の縮小を行うためには、ダウンサンプリングによる周波数領域上での帯域の重なり合い(折り返し歪み)を回避するため、原信号に対してローパスフィルタ $H_r(z)$ による帯域制限を行わなければならない。図11の(A)、

(B)は、それぞれ原信号の周波数帯域 $X(z)$ 、ローパスフィルタ $H_r(z)$ の周波数特性である。 $H_r(z)$ により帯域制限を受けた後の周波数帯域 $X_r(z)$ は、図12の

$$y(n) = \sum_k x(k) h_r(n-k) \\ y(n) = \sum_k x(k) h_r(n-UK) = \sum_k x(k) h_r(n-UK) \cdots (4)$$

となる。これらの式中の $h_r(n)$ 、 $h_r(n)$ は、各フィルタ4、7のインパルス応答を示す。

【0037】次に、以上述べたような基本技術を用いて、本発明の実施の形態のU/D倍の解像度変換を実現する点について説明する。

【0038】このU/D倍の解像度変換を行うには、図13に示すように、図6の(A)のU倍の画像拡大のための構成と、図6の(B)の1/D倍の画像縮小のための構成とを接続すれば良い。これが図13の(A)の構成になることは容易に理解できる。さらにこの構成の冗長性を無くしたものが、図同の下部である。ここで、明らかに、 $H_{rU}(n) = H_r(n) H_u(n)$ が成立する。

【0039】図13の(B)の $d(n)$ 、 $y(n)$ を数式で表現すると下記の(5)式になり、これに上記(2)式を代入して整理すると、結局(6)式に帰着する。すなわち、

$$d(n) = \sum_k x(k) h_{rU}(n-k) \cdots (5) \\ y(n) = \sum_k x(k) h_{rU}(n-k) \cdots (6)$$

である。これが、冗長性を排除した表現となる。

【0040】ここで、解像度の交換処理における冗長性の排除について説明する。交換処理を効率的に実行するためには、この冗長性の排除が重要とされる。

【0041】図13の(A)の構成において、1/D倍の画像縮小のための構成部分は、図6の(B)に対応するものであり、デジタルフィルタ4での処理は上記式(1)に示すような $x(n)$ と $p(n)$ のたたみ込みで表される。この場合、例えば $D=2$ の場合、図14の

(A)に示すように、データを2個ずつ切り出してたたみ込み処理する操作を1画素ずつシフトさせて行うことによりフィルタ出力 $p(0)$ 、 $p(1)$ 、 $p(2)$ 、 $p(3)$ 、...を求め、その後ダウンサンプリング5にてデータの2個につき1個を間引くことにより、1個置きにデータ $p(0)$ 、 $p(2)$ 、...を出力 $y(0)$ 、 $y(1)$ 、...として取り出すことが考えられる。これに対して、上記式(2)を直接計算し

* (A)のようになる。更に、この信号に対して、1/D倍のダウンサンプリングを行った後の周波数帯域 $Y_u(z)$ は、図12の(B)のように示されることから、折り返し歪みのない縮小画像を得ることができる。

【0035】以上が、U倍の拡大、及び1/D倍の縮小の場合の手段及びフィルタの満たすべき条件である。

【0036】ここで、図6で示した各信号 $x(n)$ 、 $c(n)$ 、 $y(n)$ 、 $p(n)$ の間の互いの関係を数式で表現する。図6の(B)に示す1/D倍の縮小の場合の各信号 $x(n)$ 、 $p(n)$ 、 $y(n)$ の関係式は、

$$p(n) = \sum_k x(k) h_r(n-k) \cdots (1)$$

$$y(n) = \sum_k p(Dn-k) h_r(n-k) \cdots (2)$$

となる。また、図6の(A)に示すU倍の拡大の場合の $x(n)$ 、 $c(n)$ 、 $y(n)$ の関係式は、

$$\cdots (3)$$

$$\cdots (4)$$

て出力 $y(n)$ を求めることが考えられる。これは、図14の(B)に示すように、入力データ $x(n)$ のたたみ込み処理を2画素ずつシフトさせて行うことにより冗長性を排除したものである。すなわち、 $D=2$ の場合、図14の(B)の処理量は、図14の(A)の処理量のほぼ半分であり、処理の簡略化あるいは処理時間の短縮化が図れる。

【0042】また、図13の(A)の構成において、U倍の画像拡大のための構成部分は、図6の(A)に対応するものであり、上記 $c(n)$ と $y(n)$ との関係は上記(3)式に示すようなたたみ込みで表される。ただし、 $c(n)$ の非零値はU倍ごとであり、直接計算することは無駄である。従って、 $x(n) = c(Un)$ に注意すると、 $x(n)$ と $Y(n)$ との関係は、上記式(4)のように与えられ、これを直接計算することで冗長性が排除される。

図15は、例えば $U=2$ の場合を示したものであり、図15の(A)に示す入力データ $x(n)$ に対して、2倍のアップサンプリングにより各データ間に1(=2-1)個の零値をそれぞれ挿入して図15の(B)のデータ $c(n)$ とし、これをフィルタで直線補間する際に図15の(C)に示すように2画素ずつシフトすることで、冗長性を排除している。

【0043】また、図13の(B)に示すように、上記伝達関数 $H_u(n)$ 、 $H_r(n)$ の各フィルタをまとめて伝達関数 $H_{rU}(n) (= H_r(n) H_u(n))$ の1つのフィルタとし、このフィルタ演算を上記式(5)により直接行い、さらに、ダウンサンプリングも考慮して、上記式(6)の計算を直接実行することにより、大幅に冗長性の排除が実現できる。

【0044】この図13の(B)に示す構成は、本発明の第1の実施の形態の基本構成として示した図1と同じになっていることが明らかである。なお、UとDとの値の関係で、画像を拡大するか、あるいは縮小することになるので、以下の実施の形態の説明では、各々の場合に

についての具体的な事例について説明する。

【0045】次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。この第2の実施の形態は、画像の任意有理数倍の解像度変換装置及び方法に関するものである。この第2の実施の形態では、 $U > D$ 、即ち任意有理数倍の拡大の場合の構成及び動作について説明する。

【0046】拡大の具体例として、 $U=3$ 、 $D=2$ である $3/2$ 倍の場合を考えると、上記 $H_u(z)$ と $H_v(z)$ のフィルタ特性は、それぞれ図16の(A)、(B)のように示される。このとき、この2つのフィルタ処理は、

明らかに図16の(C)の一つのフィルタによる処理と*

$$\begin{aligned} \text{零次ホールド法: } H_u(z) &= (1+z^{-1}+z^{-2}) \cdots (7) \\ &= H_{u \dots}(z) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{直線補間法: } H_u(z) &= H_{u \dots}(z) H_{u \dots}(z^{-1})/U \\ &= (1+z^{-1}+z^{-2}+\cdots+z^{-(U-1)}) \\ &\quad \times (1+z^1+z^2+\cdots+z^{U-1})/U \cdots (8) \end{aligned}$$

すなわち、直線補間法の伝達関数は、零次ホールド法の伝達関数、時間遅延させたこれらを乗算して表される $(H_{u \dots}(z) \text{と} H_{u \dots}(z^{-1}))$ 。また、 U/D 倍の内の $1/D$ は単純なダウンサンプリングで良い。

【0049】以上が、 $U > D$ の拡大の場合の処理である。

【0050】次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。この第3の実施の形態としては、任意有理数倍の解像度変換であって、 $U < D$ 、すなわち任意有理数倍の縮小の場合の構成及び動作について説明する。

【0051】縮小の具体例として、例えば $U/D=2/3$ 倍の縮小処理を考える。上述したことから、 $H_u(z)$ と $H_v(z)$ のフィルタ特性は、それぞれ図17の(A)と*

$$\begin{aligned} H_u(z) &= (1+z^{-1}+z^{-2}+\cdots+z^{-(U-1)})/D \cdots (9) \\ H_v(z) &= (H_u(z) H_v(z) \end{aligned}$$

である。

【0053】次に、本発明の第4の実施の形態について説明する。この第4の実施の形態においては、上述した解像度変換装置の前段部に高域利得強調フィルタ手段を備え、画像拡大時には同部が作動するようにしている。すなわち、この第4の実施の形態は、 $U > D$ の任意有理数倍の拡大の場合に生じる画像のぼけ、シャープネスの欠損を抑制するものである。

【0054】図18は、この第4の実施の形態の構成の一例を示しており、上記図1と共に説明した U 倍のアップサンブラ1、デジタルフィルタ2及び $1/D$ 倍のダウンサンブラ3から成る画像の解像度変換装置の前段部に、高域利得強調フィルタ9を接続して構成されている。次に動作について説明する。

【0055】高域利得強調フィルタ9としては、例えば図19に示すような縦横 (3×3) の2次元フィルタを用いることができる。この図19に示す高域強調フィルタの例えは各フィルタ係数 $f_1 \sim f_9$ としては、例えば、 $f_1 = 8$ 、

*等価となり、このフィルタは図16の(A)と同じになっている。以上のことから、 U/D 倍($U > D$)の拡大処理において使用するフィルタ $H_{u \dots}(z)$ は、 U 倍の拡大時のフィルタ $H_u(z)$ をそのまま使用することができる。

【0047】ところで、既に述べたように、 U 倍の拡大ではアップサンプリングによる零次ホールド法(図2参照)を用いることが出来るが、画質を明らかに保つために図3の直線補間法が使える。この時の関係は、下記で表現できる。

【0048】

$$\begin{aligned} \text{零次ホールド法: } H_u(z) &= (1+z^{-1}+z^{-2}) \cdots (7) \\ &= H_{u \dots}(z) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{直線補間法: } H_u(z) &= H_{u \dots}(z) H_{u \dots}(z^{-1})/U \\ &= (1+z^{-1}+z^{-2}+\cdots+z^{-(U-1)}) \\ &\quad \times (1+z^1+z^2+\cdots+z^{U-1})/U \cdots (8) \end{aligned}$$

※(B)のように示される。このとき、この2つのフィルタによる処理は、図17の(C)の一つのフィルタ $H_{u \dots}(z)$ による処理と等価になる。また、 $H_v(z) = 2H_u(z)$ の関係になることから、一般に U/D の縮小($U < D$)のときに使用するフィルタ $H_{u \dots}(z)$ は、 $1/D$ の縮小処理のフィルタ $H_u(z)$ に利得調整(U 倍)をした $U \cdot H_u(z)$ を使用することができる。

【0052】従って、 U/D 倍の縮小の場合には、 U 倍の拡大として、上記(7)式の零次ホールド法の伝達関数 $H_u(z)$ を用い、 $1/D$ 倍の縮小として下記の(9)式の平均操作手段(図5参照)を用いて、その積で表される伝達関数で実現することができる。すなわち、

$$H_u(z) = (1+z^{-1}+z^{-2}+\cdots+z^{-(U-1)})/D \cdots (9)$$

$$f_1 = f_2 = f_3 = f_4 = f_5 = f_6 = f_7 = f_8 = f_9 = -1$$

のように定めればよい。この高域利得強調フィルタは9、入力画像の高域成分を強調する作用がある。なお、一般的に高域利得強調フィルタ9としては、 $N \times N$ のフィルタ係数を一有し、中央部の係数値が正数で、それ以外の係数が -1 の値を取るものを使用できるが、これに限定されない。

【0056】これらの係数を画素に対して乗算して得られたフィルタ処理済みの画像111を、上記第1の実施形態と同様な構成の U 倍のアップサンブラ1に入力する。この U 倍のアップサンブラ1以降の処理は、既に述べたものと同様でよく、アップサンブラ1の出力112、デジタルフィルタ2の出力113、及び $1/D$ のダウンサンブラ3の出力114は、上記図1の各出力101、102、及び103に対応するため、説明を省略する。

【0057】この第4の実施の形態のように、高域利得強調フィルタ9を前段部に設けることにより、拡大時に

生じる画像のボケやシャープネスの欠如を抑制して、高画質の拡大画像を得ることができる、という利点を有する。

【0058】なお、この他の実施の形態として、上記高域利得強調フィルタ9で、 $N \times N$ のフィルタ係数値にあるパラメータ値を乗算したものを新たなフィルタ係数値とし、当該パラメータ値を可変にすることで、高域強調の画質調整手段を備えるようにしてもよい。すなわち、例えば上記図19の各フィルタ係数 $f_1 \sim f_4$ にあるパラメータ値 p を乗算し、それを新たなフィルタ係数値にすることで、エッジ強調度などの画質調整をすることができる。

【0059】本発明は、電子スチルカメラやプリンタ等で多用するサムネイル画像やデジタル画像のズームの機能を実現する場合に適用でき、具体的な応用例としては、電子カメラ、携帯・移動体画像送受信端末(PDA)、プリンタ、衛星画像、医療用画像又はそのソフトウェアモジュール等が挙げられる。

【0060】

【発明の効果】本発明によれば、入力画像を U 倍(U は整数)にアップサンプルし、アップサンプルされた画像をフィルタリングし、フィルタリング後の画像を $1/D$ 倍(D は整数)にダウンサンプルすることにより、入力画像に対して任意有理数倍、すなわち U/D 倍の拡大・縮小を伴う解像度変換を行うことができる。

【0061】これは、これまで主として単純な整数倍の拡大、または整数分の1倍の縮小しか容易には出来なかった解像度変換を、任意有理数倍で容易に実現可能とするものであり、 U 、 D の値に拘わらず、常に歪みが無い高画質な解像度変換画像を得ることができる。

【0062】また、フィルタリングには、歪みが生じない様に解像度変換率に応じて伝達関数を変えるデジタルフィルタ手段を用い、このデジタルフィルタ手段の伝達関数としては、アップサンプルの倍率 U とダウンサンプルの倍率 D とによって決定し、より具体的には、アップサンプル時のイメージング防止用のフィルタの伝達関数 $H_u(z)$ とダウンサンプル時のエイリアシング防止用のフィルタの伝達関数 $H_d(z)$ とを合成して得られる合成伝達関数 $H_{ud}(z)$ ($=H_u(z)H_d(z)$) とすることにより、冗長度が排除され、処理時間も少なく済む効果がある。

【0063】さらに、上記アップサンプルの倍率 U の値が上記ダウンサンプルの倍率 D の値よりも大きい場合は、上記フィルタリングは、零次ホールド法とダウンサンプル法とを用いて処理を行い、上記ダウンサンプルの倍率 D の値が上記アップサンプルの倍率 U の値よりも大きい場合は、上記フィルタリングは、零次ホールド法と*

*平均操作法とを用いて処理を行うことにより、簡単な構成かつ短い処理時間で、任意有理数倍の解像度変換を、高画質を保って実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態としての画像の任意有理数倍の解像度変換を行うための解像度変換装置の基本構成を示すブロック図である。

【図2】零次ホールド法の概念を説明するための図である。

【図3】直線補間法の概念を説明するための図である。

【図4】ダウンサンプル法の概念を説明するための図である。

【図5】平均値補間法の概念を説明するための図である。

【図6】 U 倍の画像拡大と $1/D$ の画像縮小のためのそれぞれの基本構成を示すブロック図である。

【図7】3倍のアップサンプリングの概念を説明するための図である。

【図8】アップサンプリング後の周波数帯域を説明するための図である。

【図9】 U 倍の拡大画像の周波数帯域を説明するための図である。

【図10】 $1/4$ 倍のダウンサンプリングの概念を説明するための図である。

【図11】 $1/D$ 倍の画像縮小に用いる理想ローパスフィルタの周波数帯域を説明するための図である。

【図12】 $1/D$ 倍の縮小画像の周波数帯域を説明するための図である。

【図13】 U 倍の画像拡大と $1/D$ の画像縮小のための各構成を組み合わせて U/D 倍の解像度変換を行うための構成を示すブロック図である。

【図14】 $1/2$ の画像縮小の場合の冗長性の排除を説明するための図である。

【図15】2倍の画像拡大の場合の冗長性の排除を説明するための図である。

【図16】 $3/2$ 倍の画像拡大時のフィルタ特性を説明するための図である。

【図17】 $2/3$ 倍の画像縮小時のフィルタ特性を説明するための図である。

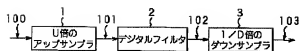
【図18】高域利得強調フィルタを設けた画像の解像度変換装置の構成の一例を示すブロック図である。

【図19】高域利得強調フィルタのフィルタ係数を説明するための図である。

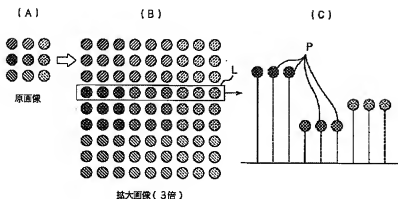
【符号の説明】

1, 6 U 倍のアップサンプル、2, 4, 7, 8 デジタルフィルタ、3, 5 $1/D$ のダウンサンプル

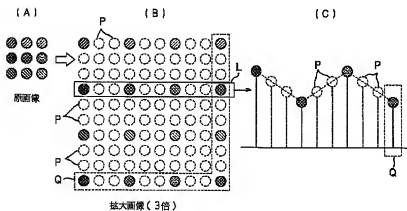
【図1】



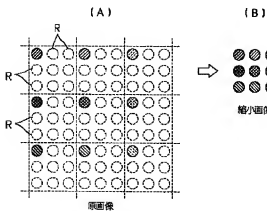
【図2】



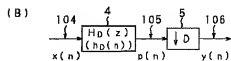
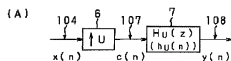
【図3】



【図4】



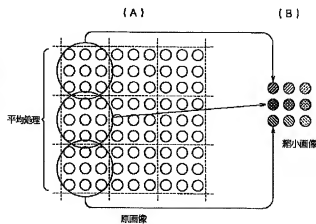
【図6】



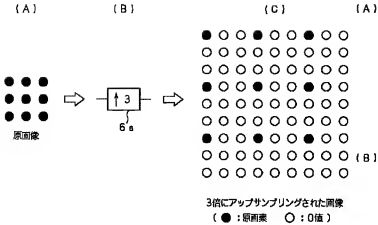
【図19】

f_1	f_2	f_3
f_4	f_5	f_6
f_7	f_8	f_9

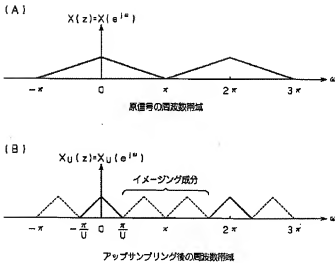
【図5】



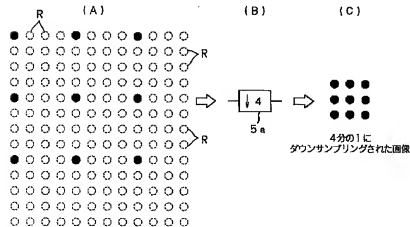
【図 7】



【図 8】

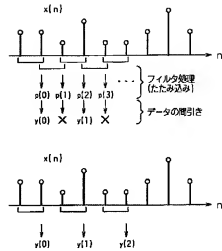


【図 10】

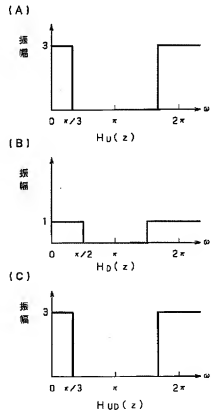


原画像 (●: 原画像 ○: 抜き取られる画像)

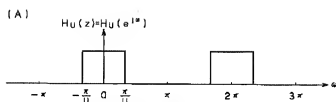
【図 14】



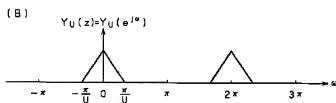
【図 16】



【図 9】

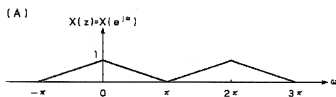


U倍の拡大時に用いる理想ローパスフィルタ

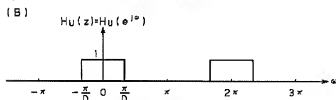


U倍の拡大画像の周波数特性

【図 11】

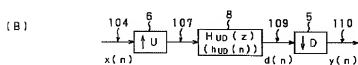
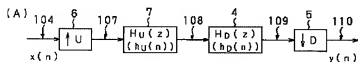


原信号の周波数特性

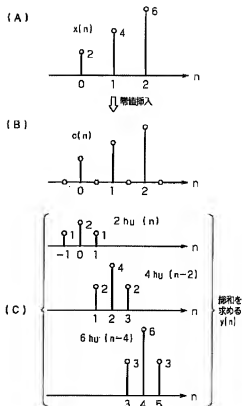


1/Dの縮小時に用いる理想ローパスフィルタ

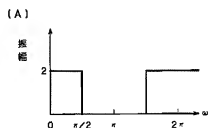
【図 13】



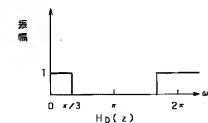
【図 15】



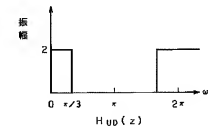
【図 17】



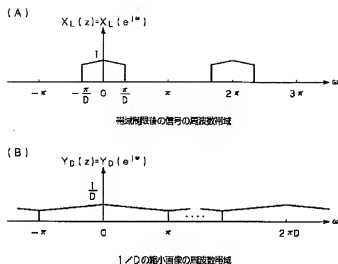
(B) $H_U(z)$



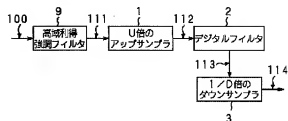
(B) $H_{UD}(z)$



【図 12】



【図 18】



フロントページの続き

(72)発明者 木村 青司
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内

(72)発明者 貴家 仁志
東京都八王子市南大沢1-1 東京都立大
学 工学部電子情報工学科内
Fターム(参考) 5B057 CB08 CD07 CD09 CH18 DC22
5CD76 AA21 AA22 AA32 BA03 BA04
BA06 BB06 BE24

(11) Japanese Patent Laid-Open No. 2000-165664

(43) Laid-Open Date: June 16, 2000

(21) Application Number: 10-340626

(22) Filing Date: November 30, 1998

(71) Applicant: SONY CORP

(71) Applicant: HITOSHI TAKAYA

(72) Inventor: TAKAHIRO FUKUHARA

(72) Inventor: SEIJI KIMURA

(72) Inventor: HITOSHI TAKAYA

(54) [Title of the Invention]

RESOLUTION CONVERTER FOR IMAGE AND RESOLUTION
CONVERSING METHOD FOR IMAGE

(57) [Abstract]

[Problem to be Solved]

Zooming up and down of an image by a rational number can be implemented with a high image quality in a short processing time.

[Solution]

An input image 100 is up-sampled by a factor of U at an up-sampler 1 and sent to a digital filter 2. At the digital filter 2, filter computation is performed, where a filter feature for preventing U-fold up-sampling and the latter stage 1/D-fold down-sampling from causing distortion is provided and redundancy is eliminated. An output 102 from the digital filter 2 is

sent to a down-sampler 3 and down-sampled by a factor
of D.

[Claims for the Patent]

[Claim 1]

An apparatus for converting resolution of an image characterized by comprising:

up-sampling means for up-sampling an input image by a factor of U (U is an integer number);

filtering means for filtering the up-sampled image; and

down-sampling means for down-sampling the filtered image by a factor of D (D is an integer number),

wherein resolution is converted by a factor of U/D for the input image.

[Claim 2]

The apparatus for converting resolution of an image according to claim 1, characterized in that said filtering means have a transfer function decided according to scaling factor of up-sampling U and scaling factor of down-sampling D .

[Claim 3]

The apparatus for converting resolution of an image according to claim 1, characterized in that said filtering means have a feature of a composed transfer function $H_{UD}(z)$ that is obtained from the combination of the transfer function $H_U(z)$ for a filter for preventing imaging in up-sampling and the transfer function $H_D(z)$ for a filter for preventing aliasing in down-sampling.

[Claim 4]

The apparatus for converting resolution of an image according to claim 1, characterized in that, if a value of scaling factor of up-sampling U is bigger than a value of scaling factor of down-sampling D, said filtering means comprises zero order hold means and down-sampling means.

[Claim 5]

The apparatus for converting resolution of an image according to claim 1, characterized in that, if a value of scaling factor of down-sampling D is bigger than a value of scaling factor of up-sampling U, said filtering means comprises zero order hold means and average operation means.

[Claim 6]

A method for converting resolution of an image characterized by comprising:

an up-sampling step of up-sampling an input image by a factor of U (U is an integer number);

a filtering step of filtering the up-sampled image; and

a down-sampling step of down-sampling the filtered image by a factor of D (D is an integer number),

wherein resolution is converted by a factor of U/D for the input image.

[Claim 7]

The method for converting resolution of an image according to claim 6, characterized in that said filtering step have a transfer function decided according to scaling factor of up-sampling U and scaling factor of down-sampling D.

[Claim 8]

The method for converting resolution of an image according to claim 6, characterized in that said filtering step have a feature of a composed transfer function $H_{\text{DB}}(z)$ that is obtained from the combination of the transfer function $H_U(z)$ for a filter for preventing imaging in up-sampling and the transfer function $H_D(z)$ for a filter for preventing aliasing in down-sampling.

[Claim 9]

The method for converting resolution of an image according to claim 6, characterized in that, if a value of scaling factor of up-sampling U is bigger than a value of scaling factor of down-sampling D, said filtering step is performed by using zero order hold and down-sampling.

[Claim 10]

The method for converting resolution of an image according to claim 6, characterized in that, if a value of scaling factor of down-sampling D is bigger than a value of scaling factor of up-sampling U, said

filtering step is performed by using zero order hold and average operation.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

The present invention relates to an apparatus and a method for converting resolution of an image so as to zoom up and down the image by a factor of a rational number.

[0002]

[Conventional Art]

When a function of zooming a thumbnail image or a digital image which is frequently used in an electronic still camera, a printer or the like is to be implemented, resolution converting of an image is required.

[0003]

With a conventional art, an image can be simply zoomed up or down by a factor of an integer number with a relatively simple manner. Resolution converting by a factor of a rational number, however, often requires complicated processing.

[0004]

[Problems to be Solved by the Invention]

In the case where an image is simply zoomed up and down by a factor of an integer number with a

conventional art as mentioned above, as the resolution of the original image increases, a difference between sizes resulted from the division by the functions of integer numbers (for example, the difference between $1/2$ and $1/3$) increases. That decreases smoothness in the zooming down. The same applies to the zooming up.

[0005]

Even if resolution can be converted by a factor of an integer number with a conventional art, some functions may result in remarkable distortion or require too much processing time, depending on the scaling factor.

[0006]

The present invention is adapted in view of the abovementioned problems and intends to provide an apparatus and a method for converting resolution of an image so as to implement zooming up and down by a factor of a rational number with high image quality in a simple manner, i.e., in a short processing time.

[0007]

[Means for Solving the Problems]

In order to solve the abovementioned problems, the apparatus and the method for converting resolution of an image according to the present invention is characterized by converting resolution of an input image accompanied by zooming up and down by a factor of U/D by up-sampling the input image by a factor of U (U

is an integer number), filtering the up-sampled input image, and down-sampling the filtered image by a factor of D (D is an integer number).

[0008]

Digital filter means for converting a transfer function according to the resolution converting function so as to prevent distortion is used in the abovementioned filtering. The transfer function for the digital filter means preferably depends on the function U for up-sampling and the function D for down-sampling. More specifically, the transfer function is preferably a composed transfer function $H_{UD}(z)$ ($=H_U(z)H_D(z)$) that is obtained from the combination of the transfer function $H_U(z)$ for a filter for preventing imaging in up-sampling and the transfer function $H_D(z)$ for a filter for preventing aliasing in down-sampling.

[0009]

If the value of the function U for the up-sampling is bigger than the value of the function D for the down-sampling, the zero-order hold or the down-sampling is preferably applied to the filtering. If the value of the function D for the down-sampling is bigger than the value of the function U for the up-sampling, the zero-order hold or the average operation is preferably applied to the filtering.

[0010]

Up-sampling in the resolution conversion by a factor of a rational number has an effect of increasing the resolution of an image by using the zero-order hold means, for example. Down-sampling has an effect of calculating the resolution of an image by using the thinning processing or calculating an average for pixels, for example. The digital filter means has an effect of performing convolution by setting a transfer function according to each value of the zooming up function U and the zooming down function $1/D$ and multiplying a pixel unit by a filter factor.

[0011]

The digital filter means has an effect of regulating a bandwidth so as to prevent up-sampling or down-sampling from causing imaging or aliasing.

[0012]

[Embodiments of the Invention]

Embodiments of the apparatus and the method for converting resolution of an image according to the present invention will be described with reference to the drawings.

[0013]

A first embodiment of the apparatus for converting resolution of an image according to the present invention is shown in Figure 1. The apparatus for converting resolution of an image as the first embodiment of the present invention shown in Figure 1

includes a U-fold up-sampler 1 that up-samples an input image 100 by a factor of U (U is an integer number), a digital filter 2 that filters an image 101 that is up-sampled, and a 1/D-fold down-sampler 3 that down-samples a filtered image 102 by a factor of D (D is an integer number). With the configuration shown in Figure 1, resolution of the input image 100 is converted by a factor of U/D and the resulted image is extracted as an output image 103.

[0014]

The transfer function of the digital filter 2 preferably depends on the function U for up-sampling and the function D for down-sampling. In the case where the transfer function for a filter that removes an imaging component is $H_U(z)$ and the transfer function for an anti-aliasing filter that removes loopback distortion is $H_D(z)$, in which the imaging component is a spectrum component that is newly generated by a factor of U-fold up-sampling and the loopback distortion is caused by 1/D-fold down-sampling, the transfer function for the digital filter 2 $H_{UD}(z)$ is preferably

$$H_{UD}(z) = H_U(z) H_D(z)$$

so as to be a function without redundancy.

[0015]

If the value of U is bigger than the value of D, a zero-order hold circuit and a down-sample circuit are

preferably used for the digital filter 2. If the value of D is bigger than the value of U, a zero-order hold circuit and an average operation circuit are preferably used for the digital filter 2.

[0016]

Four methods which provide basic techniques used in each embodiment of the present invention will be described. Specifically, the four methods are the zero-order hold for zooming up an image, the linear interpolation, the down-sample for zooming down an image, and the average operation.

[0017]

As the first method, the zero-order hold is known as the simplest method. When the zero-order hold is applied to a one-dimensional pixel column, zooming up by a factor of N corresponds to interpolating N-1 pixels of the same value near the object pixel. The zero-order hold has a problem in that a high enlargement ratio results in an image quality with discontinuous blocks in spite of its simple processing.

[0018]

Figure 2 shows an example of the zero-order hold for zooming up an image by a factor of three. Figure 2 (A) shows a part of an original image, for example $3(\text{height}) \times 3(\text{width})$ pixels. In the case of zooming up by a factor of three (zooming up by a factor of nine in the area ratio), $3(\text{height}) \times 3(\text{width})$ pixels of the

same value are arranged for a pixel and a part corresponding to the 3×3 part of the original image is formed by 9×9 pixels as shown in Figure 2 (B). A row L of the part of 9×9 pixels in the zoomed up image is extracted and described with pixel values in the vertical axis in Figure 2 (C). Each circle drawn by dashed line in Figure 2 (C) is a pixel that is interpolated by the zero-order hold. Two pixels Ps of the same value are interpolated next to each pixel in the original image (a circle drawn by solid line in the figure).

[0019]

The second method, the linear interpolation, which is also called as the bilinear interpolation, can generate a relatively smooth zoomed up image. This method generates a pixel that is interpolated as the image is zoomed up by linear approximation between adjacent pixels in the original image.

[0020]

Figure 3 shows a specific example of the linear interpolation for zooming up an image by a factor of three. Figure 3 (A) shows a part of an original image, for example $3(\text{height}) \times 3(\text{width})$ pixels. In the case of zooming up by a factor of three, interpolating pixels Ps are arranged between the pixels and a part of zoomed up image with $9(\text{height}) \times 9(\text{width})$ pixels is formed as shown in Figure 3 (B). The interpolating

pixel P is obtained by the linear approximation between adjacent pixels in the original image as shown in Figure 3 (C). Therefore, outside pixels Q are required to obtain interpolating pixels next to the rightmost or bottom pixels in the original image. If an image is to be zoomed up with the number of pixels exactly increased by a factor of an integer number, the linear approximation is performed with provisional pixels Qs added so that interpolating pixels on the edge are generated. The pixels to be added are generally selected so that they are symmetrical with respect to the pixels at the edge of the image (see Figure 3 (C)) and removed after the linear interpolation in consideration of smoothness of the image. With the linear interpolation, a smooth zoomed up image can be obtained with somewhat less sharpness at the edge.

[0021]

The third method, the down-sample method, is known as the simplest method. When the down-sample is applied to a one-dimensional pixel column, zooming down by a factor of N with the down-sample corresponds to processing of selecting a pixel for each N pixels and rearranging the image. In spite of the simple processing, this method may cause loopback distortion (aliasing) if it is applied to an image including high-frequency components.

[0022]

Figure 4 shows a specific example of the down-sample for zooming down an image by a factor of 3. A pixel is selected from each three pixels in a part of the original image with $9(\text{height}) \times 9(\text{width})$ pixels as shown in Figure 4 (A) and the other pixels R_s are thinned out. As a result, a part of a zoomed down image with $3(\text{height}) \times 3(\text{width})$ pixels as shown in Figure 4 (B) is formed.

[0023]

Now, the fourth method, the average operation will be described. When the method is applied to a one-dimensional pixel column, zooming down by a factor of N with the average operation is processing of calculating an average for each N pixels and rearranging the image by using the value as the pixel value of the zoomed down image. As the averaging corresponds to a low-pass filter, the method can reduce occurrence of loopback distortion (aliasing).

[0024]

Figure 5 shows a specific example of the average operation for zooming down an image by a factor of 3. Nine pixel values in each region of $3(\text{height}) \times 3(\text{width})$ pixels in a part of the original image with $9(\text{height}) \times 9(\text{width})$ pixels as shown in Figure 5 (A) are averaged and the averages are used as pixel values of a zoomed down image. As a result, a part of a

zoomed down image with $3(\text{height}) \times 3(\text{width})$ pixels as shown in Figure 5 (B) is formed.

[0025]

Now, before describing the method for converting resolution of an image by a factor of U/D , a method for zooming up an image by a factor of U and a method for zooming down an image by a factor of D will be described below. First, the method for zooming up an image by a factor of U will be described.

[0026]

Figure 6 (A) shows basic configuration for zooming up an image by a factor of U , including a U -fold up-sampler 6 and a digital filter 7 whose transfer function is $H_U(z)$. The transfer function $H_U(z)$ of the digital filter is an expression on a z axis ($z = \exp(j\omega T)$). An impulse response of a filter, which is an expression of the transfer function on a time axis, is provided as $h_U(n)$. " n " is the number of samples (sample number, sample position) on the time axis. Similarly, an input image 104 is provided as $x(n)$, an output 107 from the up-sampler 6 is provided as $c(n)$, and an output 108 from the digital filter 7 is provided as $y(n)$. Now, the operation thereof will be described.

[0027]

The input image 104 is sent to the U -folded up-sampler 6, and the image is up-sampled by a factor of U . The up-sampling operation is specifically shown in

Figure 7. As shown in Figure 7, the U-fold up-sampling is the operation of inserting (U-1) zero values.

[0028]

That is, a part of the original image with $3(\text{height}) \times 3(\text{width})$ pixels as shown in Figure 7 (A) is up-sampled by three by the three-fold up-sampler 6a as shown in Figure 7 (B). As shown in Figure 7 (C), two zero values are inserted between pixels in the one dimensional direction and eight zero values are inserted for each original pixel in the two dimension. Accordingly, the part of the original image with $3(\text{height}) \times 3(\text{width})$ pixels is converted into the part with $9(\text{height}) \times 9(\text{width})$ pixels in the zoomed up image.

[0029]

The up-sampled image 107 that is generated in the manner is input into the digital filter 7 of the transfer function $H_U(z)$ and filtered. Then, the U-fold zoomed up image 108 is output.

[0030]

Now, a feature to be fulfilled by the digital filter 7 of the transfer function $H_U(z)$ will be described. For ideal zooming up of an image by a factor of U, the low-pass filter needs to be designed in consideration of variation in the frequency band for signals caused by up-sampling. Figure 8 (A) and (B) show the frequency band $X(z)$ of the original signal and the frequency band $X_U(z)$ of the image up-sampled

by a factor of U , respectively. " ω " is the normalized angle frequency. The dashed line shown in Figure 8 (B) is an imaging component (a spectrum component created anew by up-sampling), which needs to be removed when a zoomed up image is to be obtained. Accordingly, an ideal low-pass filter $H_U(z)$ shown in Figure 9 (A) is used so that a zoomed up image with the frequency band $Y_U(z)$ shown in Figure 9 (B) can be obtained. As a result, a digital filter with a feature of the ideal low-pass filter $H_0(z)$ as shown in Figure 9 (A) is selected for the digital filter 7 of the transfer function $H_U(z)$ shown in Figure 9 (B).

[0031]

Now, the method for zooming down an image by a factor of D will be described. Figure 6 (B) shows basic configuration for zooming down an image by a factor of D , including a digital filter 4 whose transfer function is $H_D(z)$ and a $1/D$ -fold down-sampler 5. An impulse response of the digital filter 4 is provided as $h_D(n)$ as an expression on a time axis. The input image 104 is provided as $x(n)$, an output 105 from the digital filter 4 is provided as $p(n)$, and an output 106 from the down-sampler 5 is provided as $y(n)$. Now, the operation thereof will be described.

[0032]

The input image 104 is first input into the digital filter 4 and the filter output 105 is output.

The filter output 105 is down-sampled by a factor of D at the down-sampler 5. The down-sampling by a factor of D is the operation of extracting $(D-1)$ pixels. The image 106 zoomed down by a factor of D generated in the manner is output.

[0033]

Figure 10 specifically shows the down-sampling operation by taking an example of the case of $D=4$. In Figure 10, 1/4-fold down-sampler 5a as shown in Figure 10 (B) extracts three pixels from each four pixels in the one dimensional direction and removes the pixels R_s leaving one pixel from 4×4 pixels in the two dimension for a part of the original image with 12×12 pixels as shown in Figure 10 (A). Then, an image is generated as a zoomed down image as shown in Figure 10 (C), i.e., a part of the image that is down-sampled by a factor of 4 with 3×3 .

[0034]

Now, a feature to be fulfilled by the digital filter 4 of the transfer function $H_D(z)$ will be described. For ideal zooming down of an image by a factor of D , the original signals need to be limited for the band by the low-pass filter $H_D(z)$ so that bands is prevented from overlapping each other (loopback distortion) on the frequency region caused by the down-sampling. Figure 11 (A) and (B) show the frequency band $X(z)$ of the original signal and the frequency

feature of the low-path filter $H_D(z)$, respectively. The frequency band $X_L(z)$ that is limited for the band by $H_D(z)$ is such as shown in Figure 12 (A). The frequency band $Y_D(z)$ that is the result of the down-sampling performed on the signals by a factor of D is such as shown in Figure 12 (B). Accordingly, a zoomed down image without loopback distortion can be obtained.

[0035]

Conditions that the means and the filter need to fulfill in zooming up by a factor of U and zooming down by a factor of D have been described.

[0036]

Here, relationship between signals shown in Figure 6 $x(n)$, $c(n)$, $y(n)$, $p(n)$ will be described by formulae. Relations between the signals $x(n)$, $p(n)$, $y(n)$ in the case of zooming down by a factor of D as shown in Figure 6 (B) are shown below.

$$P(n) = \sum_k X(k) h_D(n-k) \dots (1)$$

$$y(n) = p(Dn) = \sum_k X(k) h_D(Dn-k) \dots (2)$$

Relations between $x(n)$, $c(n)$, $y(n)$ in the case of zooming up by a factor of U as shown in Figure 6 (A) are shown below.

$$y(n) = \sum_k c(k) h_U(n-k) \dots (3)$$

$$y(n) = \sum_k c(Uk) h_U(n-Uk) = \sum_k X(k) h_U(n-Uk) \dots (4)$$

" $h_D(n)$ " and " $h_U(n)$ " in the formulae denote impulse responses of filters 4 and 7.

[0037]

Now, how the resolution conversion by a factor of U/D according to the embodiment of the present invention is implemented by using the basic techniques as mentioned above will be described.

[0038]

For the purpose of resolution conversion by a factor of U/D, only the configuration for zooming up an image by a factor of U as shown in Figure 6 (A) and the configuration for zooming down an image by a factor of D as shown in Figure 6(B) need to be connected as shown in Figure 13. It is easily understood that the connection results in the configuration shown in Figure 13 (A). Configuration eliminated of the redundancy of the configuration is shown at the bottom of the figure. It is apparent that $H_{UD}(n) = H_U(n) H_D(n)$ is established here.

[0039]

"d (n), y (n)" in Figure 13 (B) are expressed as the formula (5). The formula (2) is substituted in the formula (5), resulting in the formula (6). That is, the result is shown below.

$$d(n) = \sum_x(k) h_{UD}(n-Uk) \dots (5)$$

$$y(n) = \sum_x(k) h_{UD}(n-Dn-Uk) \dots (6)$$

Those are the expressions eliminated of redundancy.

[0040]

Now, eliminating redundancy in the conversion of resolution will be described. For efficient conversion, it is important to eliminate redundancy.

[0041]

In the configuration shown in Figure 13 (A), the component for zooming down an image by a factor of D corresponds to that shown in Figure 6 (B). The processing performed by the digital filter 4 is represented as convolution of $x(n)$ and $p(n)$ as shown in the formula (1). For example, in the case of $D=2$, as shown in Figure 14 (A), the operation of performing convolution by cutting two pieces of data out may be shifted by one pixel and filter outputs $p(0)$, $p(1)$, $p(2)$, $p(3)$, ... may be obtained, and then a piece of data may be thinned out from the two pieces of data at the down-sampler 5 so that pieces of data $p(0)$, $p(2)$, ..., a piece for each two pieces, are extracted as outputs $y(0)$, $y(1)$, In contrast, the formula (2) may be directly calculated so that the output $y(n)$ is obtained. That is the processing of performing the convolution on the input data $x(n)$ by shifting it by two pixels and eliminating redundancy, as shown in Figure 14 (B). That is, in the case of $D=2$, the throughput in the case of Figure 14 (B) is required to be almost the half of the throughput in the case of Figure 14 (A). That simplifies the processing and shortens the processing time.

[0042]

In the configuration shown in Figure 13 (A), the component for zooming up an image by a factor of U corresponds to that shown in Figure 6 (A). The relationship between $c(n)$ and $y(n)$ is represented as convolution as shown in (3). As non-zero values of $c(n)$ appear for each U , it is useless to directly calculate them. When $x(n) = c(Un)$ is focused, the relationship between $x(n)$ and $Y(n)$ is provided as the formula (4). That is directly calculated and redundancy is eliminated. Figure 15 shows the case of $U=2$ as an example. One $(=2-1)$ zero value is inserted between pieces of input data $x(n)$ shown in Figure 15 (A) by twice up-sampling, resulting in data $c(n)$ shown in Figure 15 (B). The data is shifted by two pixels as shown in Figure 15 (C) when the data is subjected to linear interpolation at the filter. That eliminates redundancy.

[0043]

As shown in Figure 13 (B), filters of the transfer function of $H_U(n)$ and $H_D(n)$ are combined into a filter 8 of the transfer function $H_{UD}(n)$ ($=H_U(n) H_D(n)$), and the filter calculation is directly performed by the formula (5), and the formula (6) is also directly performed in consideration of down-sampling. That significantly eliminates redundancy.

[0044]

It is apparent that the configuration shown in Figure 13 (B) is the same as that shown in Figure 1 as the basic configuration of the first embodiment of the present invention. An image is zoomed up or zoomed down according to the relationship of values of U and D . In the description of an embodiment below, specific examples for respective cases will be described.

[0045]

Now, a second embodiment of the present invention will be described. The second embodiment relates to an apparatus and a method for converting resolution of an image by a factor of a rational number. The configuration and operation of zooming up by a factor of $U > D$, i.e., a rational number will be described.

[0046]

When the case of zooming up by a factor of $3/2$, in which $U=3$ and $D=2$, is taken as a specific example of zooming up, the filter features of $H_U(z)$ and $H_D(z)$ are shown as Figure 16 (A) and (B). The processing performed by the two filters is apparently equivalent to processing performed by a single filter shown in Figure 16 (C), which is the same as that shown in Figure 16 (A). Accordingly, the filter $H_{UD}(z)$ that is used in zooming up by a factor of U/D ($U > D$) may be the filter $H_U(z)$ in zooming up by a factor of U .

[0047]

As mentioned above, the zero-order hold with up-sampling (see Figure 2) can be used for zooming up by a factor of U . The linear interpolation shown in Figure 3 may be used for the purpose of keeping smoothness of the image quality. Relation between them will be expressed as below.

[0048]

$$\begin{aligned} \text{zero-order hold: } H_0(z) &= (1+z^{-1}+z^{-2}+\dots+z^{-(U-1)}) \\ &= H_{\text{zero}}(z) \dots (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{linear interpolation: } H_U(z) &= H_{\text{zero}}(z) H_{\text{zero}}(z^{-1})/U \\ &= (1+z^{-1}+z^{-2}+\dots+z^{-(U-1)}) \\ &\quad \times (1+z^1+z^2+\dots+z^{U-1})/U \dots (8) \end{aligned}$$

That is, the transfer function for the linear interpolation is expressed such as the transfer function of the zero-order hold is delayed in time and multiplied with the transfer function ($H_{\text{zero}}(z)$ and $H_{\text{zero}}(z^{-1})$). $1/D$ of U/D -fold may be simple down-sampling.

[0049]

Processing in the case of $U > D$ has been described.

[0050]

Now, a third embodiment of the present invention will be described. As the third embodiment, the configuration and operation in the case of resolution conversion by a factor of a rational number, which is zooming down by a factor of $U < D$, i.e., a rational number will be described.

[0051]

As a specific example of zooming down, zooming down by a factor of $U/D = 2/3$ is considered. As mentioned above, the filter features of $H_U(z)$ and $H_D(z)$ are shown as Figure 17 (A) and (B). Here, the processing performed by two filters is equivalent to processing performed by a single filter $H_{UD}(z)$ shown in Figure 17 (C). As the relationship is $H_{UD}(z) = 2H_D(z)$, the filter $H_{UD}(z)$ that is used in zooming down by a factor of U/D ($U < D$) may be the filter $U \cdot H_D(z)$, which is the filter $H_D(z)$ for zooming down by a factor of D adjusted for the gain (multiplied by a factor of U).

[0052]

Zooming down by a factor of U/D may be implemented by the transfer function that is expressed as the product of the transfer function $H_U(z)$ of the zero order hold in the formula (7) and the average operation means (see Figure 5) in the formula (9), where the transfer function $H_U(z)$ is used for zooming up by a factor of U and the average operation means is used for zooming down by a factor of D . That is,

$$H_D(z) = (1+z^{-1}+z^{-2}+\dots+z^{-(U-1)})/D \quad \dots(9)$$

$$H_{UD}(z) = H_U(z) H_D(z)$$

[0053]

Now, a fourth embodiment will be described. In the fourth embodiment, the apparatus for converting resolution is provided with high-frequencies-gain

emphasizing filter means at the front part so that the means operates in zooming up an image. That is, the fourth embodiment is for reducing a blur and the loss of sharpness of an image which is caused in zooming up by a rational number of $U > D$.

[0054]

Figure 18 shows an example of the configuration of the fourth embodiment, including a high-frequencies-gain emphasizing filter 9 that is connected with the front part of the apparatus for converting resolution of an image that is formed by a U-fold up-sampler 1, a digital filter 2 and a 1/D-fold down-sampler 3. Now, the operation will be described.

[0055]

The high-frequencies-gain emphasizing filter 9 may be a (3×3) two dimensional filter as shown in Figure 19. Filter coefficients f_1 to f_9 of the high-frequencies-gain filter as shown in Figure 19 may be decided as

$$f_5 = 8,$$

$$f_1 = f_2 = f_3 = f_4 = f_6 = f_7 = f_8 = f_9 = -1.$$

The high-frequencies-gain emphasizing filter 9 has an effect of emphasizing the high-frequency component of the input image. Although the high-frequencies-gain emphasizing filter 9 may be one with an $N \times N$ filter coefficient, a positive central part coefficient value and each of the other coefficients being -1, the high-

frequencies-gain emphasizing filter is not limited to that.

[0056]

A filtered image 111 that is obtained as the coefficients are multiplied with the pixels is input into the U-fold up-sampler 1 with the similar configuration as that of the first embodiment. The processing after the U-fold up-sampler 1 may be that described above. As an output 112 from the up-sampler 1, an output 113 from the digital filter 2, and an output 114 from the 1/D-fold down-sampler 3 correspond to the outputs 101, 102, 103 shown in Figure 1, they are omitted from the description.

[0057]

As in the fourth embodiment, with the high-frequencies-gain emphasizing filter 9 provided at the front part, a blur and the loss of sharpness in an image which are caused in zooming up are reduced so that a zoomed up image with a high image quality can be obtained.

[0058]

As another embodiment, the $N \times N$ filter coefficient value multiplied with a certain parameter value may be made a new filter coefficient value and the parameter value may be made variable so that high-frequencies emphasizing image quality adjusting means is provided for the high-frequencies-gain emphasizing

filter 9. That is, a certain parameter value p may be multiplied with each of the filter coefficients f_1 to f_9 , shown in Figure 19 and the result may be made a new filter coefficient value so that image adjustment such as edge emphasis is performed.

[0059]

The present invention can be applied to a case where a zooming function is implemented on a thumbnail image or a digital image which are frequently used in an electronic still camera, a printer or the like. As specific applications, an electronic camera, a personal digital assistant (PDA), a printer, a satellite image, a medical image or a software module and the like for the same can be considered.

[0060]

[Advantages of the Invention]

According to the present invention, an input image is up-sampled by a factor of U (U is an integer number), the up-sampled image is filtered, and the filtered image is down-sampled by a factor of D (D is an integer number) so that resolution of the input image is converted accompanied by zooming up and down by a factor of a rational number, i.e., U/D .

[0061]

That enables easy implementation of resolution conversion by a rational number, where conventional arts can only implement mainly simple zooming up or

down on an image by a factor of an integer number. That enables a resolution converted image with high image quality to be always obtained without distortion whatever the values of U and D are.

[0062]

That has an advantage of eliminating redundancy and requiring a short processing time as digital filter means for converting a transfer function according to a resolution converting ratio so as to prevent distortion is used for filtering, and the transfer function of the digital filter means is decided by the scaling factor of up-sampling U and the scaling factor of down-sampling D, more specifically the transfer function is decided as a combined transfer function $H_{UD}(z)$ ($= H_U(z) H_D(z)$) that is resulted from combining the transfer function $H_U(z)$ for a filter that prevents imaging in up-sampling and the transfer function $H_D(z)$ for a filter that prevents aliasing in down-sampling.

[0063]

If the value of the scaling factor of up-sampling U is bigger than the value of the scaling factor of down-sampling D, the zero order hold and the down-sampling are used for the filtering. If the value of the scaling factor of down-sampling D is bigger than the value of the scaling factor of up-sampling U, the zero order hold and the average operation are used for the filtering. That enables the resolution conversion

by a rational number to be implemented with a high image quality kept by simple configuration in a short processing time.

[Brief Description of the Drawings]

[Figure 1]

Figure 1 is a block diagram showing basic configuration of an apparatus for converting resolution that is for converting resolution of an image by a rational number as a first embodiment of the present invention;

[Figure 2]

Figure 2 is a diagram for illustrating a concept of a zero order hold;

[Figure 3]

Figure 3 is a diagram for illustrating a concept of linear interpolation;

[Figure 4]

Figure 4 is a diagram for illustrating a concept of down-sampling;

[Figure 5]

Figure 5 is a diagram for illustrating a concept of average interpolation;

[Figure 6]

Figure 6 is a block diagram showing basic configuration of each case of zooming up an image by a factor of U and zooming down an image by a factor of D ;

[Figure 7]

Figure 7 is a diagram for illustrating a concept of three-fold up-sampling;

[Figure 8]

Figure 8 is a diagram for illustrating a frequency band after the up-sampling;

[Figure 9]

Figure 9 is a diagram for illustrating a frequency band for an image zoomed up by a factor of U ;

[Figure 10]

Figure 10 is a diagram for illustrating a concept of down-sampling by a factor of 4;

[Figure 11]

Figure 11 is a diagram for illustrating a frequency band for an ideal low-pass filter that is used in zooming down an image by a factor of D ;

[Figure 12]

Figure 12 is a diagram for illustrating a frequency band of an image zoomed down by a factor of D ;

[Figure 13]

Figure 13 is a block diagram showing configuration for implementing resolution conversion by a factor of U/D as configuration for zooming up an image by a factor of U and zooming down an image by a factor of D combined;

[Figure 14]

Figure 14 is a diagram for illustrating elimination of redundancy in the case of zooming down an image by a factor of 2;

[Figure 15]

Figure 15 is a diagram for illustrating elimination of redundancy in the case of zooming up an image by 2;

[Figure 16]

Figure 16 is a diagram for illustrating a filter feature in zooming up an image by a factor of $3/2$;

[Figure 17]

Figure 17 is a diagram for illustrating a filter feature in zooming down an image by a factor of $3/2$;

[Figure 18]

Figure 18 is a block diagram showing an example of configuration of an apparatus for converting resolution of an image with a high-frequencies-gain emphasizing filter provided; and

[Figure 19]

Figure 19 is a diagram for illustrating a filter coefficient of the high-frequencies-gain emphasizing filter.

[Description of Symbols]

- 1, 6 U-fold up-sampler
- 2, 4, 7, 8 digital filter
- 3, 5 1/D-fold down-sampler

Figure 1

- 1 U-FOLD UP-SAMPLER
- 2 DIGITAL FILTER
- 3 1/D-FOLD DOWN SAMPLER

Figure 2

- #1 ORIGINAL IMAGE
- #2 ZOOMED UP IMAGE (BY THREE)

Figure 3

- #1 ORIGINAL IMAGE
- #2 ZOOMED UP IMAGE (BY THREE)

Figure 4

- #1 ORIGINAL IMAGE
- #2 ZOOMED DOWN IMAGE

Figure 5

- #1 AVERAGING
- #2 ORIGINAL IMAGE
- #3 ZOOMED DOWN IMAGE

Figure 7

- #1 ORIGINAL IMAGE
- #2 IMAGE UP-SAMPLED BY THREE
- #3 ORIGINAL PIXEL
- #4 ZERO VALUE

Figure 8

- #1 FREQUENCY BAND OF ORIGINAL SIGNAL
- #2 IMAGING COMPONENT
- #3 FREQUENCY BAND AFTER UP-SAMPLING

Figure 9

- #1 IDEAL LOW-PATH FILTER USED IN ZOOMING UP BY U
- #2 FREQUENCY BAND OF IMAGE ZOOMED UP BY U

Figure 10

- #1 IMAGE DOWN SAMPLED BY A FACTOR OF 4
- #2 ORIGINAL IMAGE
- #3 ORIGINAL PIXEL
- #4 EXTRACTED PIXEL

Figure 11

- #1 FREQUENCY BAND OF ORIGINAL SIGNAL
- #2 IDEAL LOW-PATH FILTER USED IN ZOOMING DOWN BY A FACTOR OF D

Figure 12

- #1 FREQUENCY BAND OF SIGNAL LIMITED FOR BAND
- #2 FREQUENCY BAND OF IMAGE ZOOMED DOWN BY A FACTOR OF D

Figure 14

- #1 FILTERING (CONVOLUTION)
- #2 THINNING OUT OF DATA

Figure 15

- #1 INSERT ZERO VALUE
- #2 OBTAIN TOTAL SUM

Figure 16

- #1 AMPLITUDE

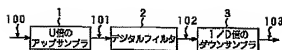
Figure 17

- #1 AMPLITUDE

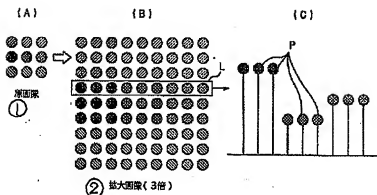
Figure 18

- 1 U-FOLD UP-SAMPLER
- 2 DIGITAL FILTER
- 3 1/D-FOLD DOWN SAMPLER
- 9 HIGH FREQUENCIES GAIN EMPHASIZING FILTER

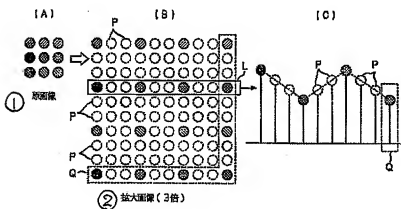
【図 1】



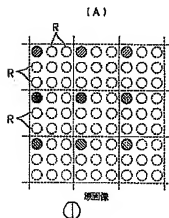
【図 2】



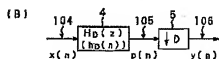
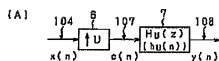
【図 3】



【図 4】



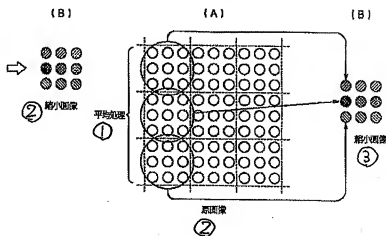
【図 6】



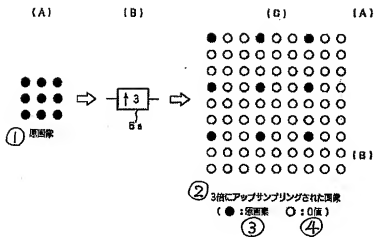
【図 19】

f_1	f_2	f_3
f_4	f_5	f_6
f_7	f_8	f_9

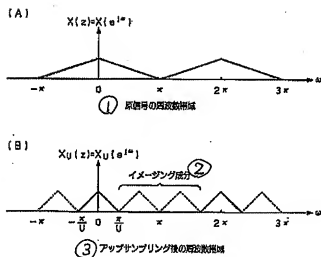
【図 5】



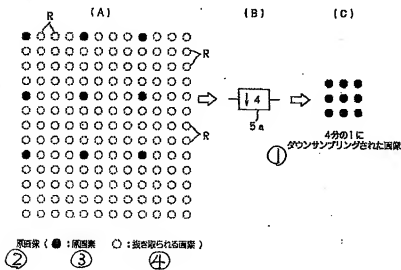
【図7】



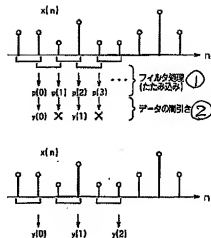
【図8】



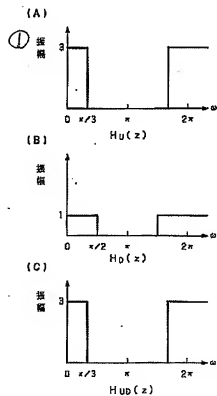
【図10】



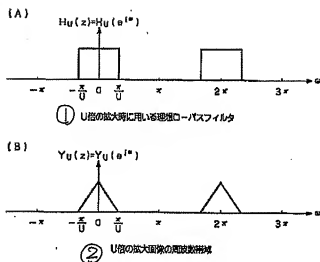
【図14】



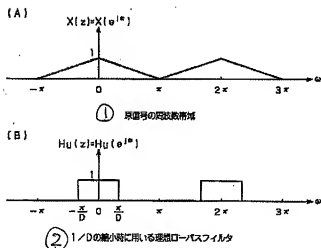
【図16】



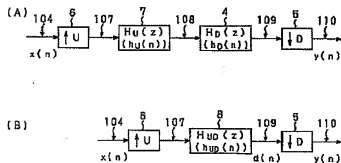
【図 9】



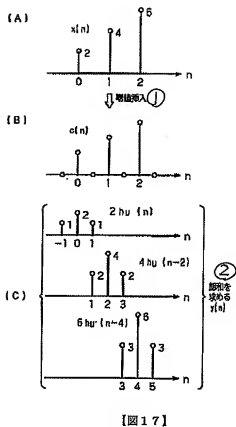
【図 11】



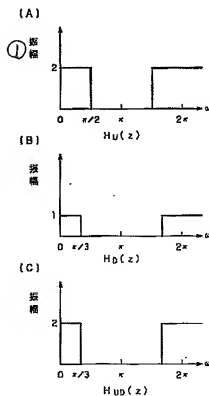
【図 13】



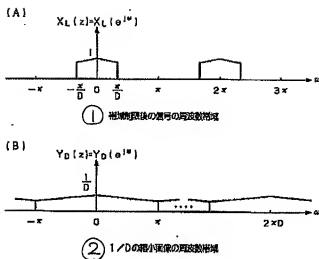
【図 15】



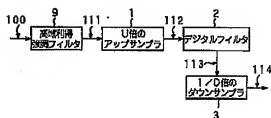
【図 17】



【図 12】



【図 18】



フロントページの続き

(72)発明者 木村 育司
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
株式会社内

(72)発明者 貴家 仁志
東京都八王子市南大沢1-1 東京都立大
学 工学部電子情報工学科内
Fターム(参考) 5B057 CB08 CD07 CD09 CH18 DC22
5C076 AA21 AA22 AA32 BA03 BA04
BA06 BB06 BB24